MECÁNICA

DE

LA RESPIRACION.

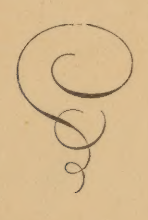
TESIS

QUE PRESENTA

EN SU EXAMEN PROFESIONAL DE MEDICINA, CIRUGIA, Y OBSTETRICIA,

ALBERTO LÓPEZ HERMOSA,

ALUMNO DE LA ESCUELA DE MEDICINA DE MÉXICO,
PRACTICANTE DE LOS HOSPITALES DE SAN ANDRES Y MATERNIDAD,
Y MIEMBRO DE LA SOCIEDAD FILOIÁTRICA.



MÉXICO
IMPRENTA DE IGNACIO ESCALANTE,
BAJOS DE SAN AGUSTIN, NUM. 1.

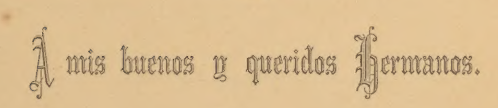
1874

Á MI ADORADO PADRE

DOCTOR JOAQUIN LOPEZ HERMOSA

Y

A MI CARIÑOSA MADRE.



Á LA IMPERECEDERA MEMORIA

DE LOS SEÑORES

DOCTOR DON MATILDE ROJAS

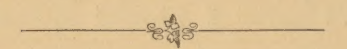
Y

DON PEDRO HUICI.

A mis Maestros y Amigos

Dr. Juan María Rodríguez y Dr. Manuel Domínguez.

Débil prueba de gratitud por las sábias lecciones
que de ellos he recibido.



A MIS MAESTROS

Dr. M. Carmona y Valle, Dr. Aniceto Ortega

Y

Dr. EDUARDO LICÉAGA,

TRIBUTO DE ADMIRACION Y CARIÑO.

NADIE desconoce los rápidos progresos que las ciencias Biológicas han hecho en Europa durante los veinte últimos años; bajo su sombra hemos visto desarrollarse tambien, con una prontitud asombrosa, los conocimientos de la medicina; la ciencia cambia de faz completamente, sigue un camino glorioso; no es ya aquella ciencia, que caminando á ciegas, y no pudiendo pasar del pequeño y miserable círculo del empirismo, á cada paso cae desfallecida sin haber alcanzado como producto de sus fatigas, sino resultados poco halagüeños y casi siempre aislados.

Hoy la estadística se hace á un lado para dejar libre la brillante marcha de la experimentacion; á la Medicina empírica, sucede la Medicina racional, y á la cabeza del médico, como su guía, se presenta el fisiologista.

Conocer un fenómeno, determinar una á una las circunstancias de su produccion, poderlas cambiar, aumentar ó disminuir, para variar así el fenómeno mismo; someter á su voluntad los secretos de la íntima evolucion de un organismo para poder un dia repetir la prevision del inmortal Leverrier; saber para prever, tal es el objeto del fisiologista.

Este objeto, tan íntimamente ligado con las necesidades de la vida, debe ser el del médico tambien.

¿Cómo, si no, pronosticar el desarrollo futuro de un

proceso patológico; cómo atacar sus terribles efectos; cómo hacer que desaparezca un obstáculo opuesto á la evolucion mortal de la vida, si no lo conocemos? ¡A cuántos errores nos ha dado lugar la ignorancia de una condicion tan esencial!

Recuérdese, entre otras, la necia teoría de la expulsion del humor venéreo por la saliva, y sus funestos resultados: recuérdese lo grave que ha sido tambien la prodigalidad en la aplicacion de la digitalina, y muchos otros hechos patentes que nos están demostrando á la luz del dia, la necesidad imperiosa de la íntima investigacion del mecanismo de la vida, como el medio mas seguro y evidente de penetrar los secretos de la Biología anormal.

A medida que se avanza en el camino de la experimentacion; á medida que se ensancha el campo de los conocimientos fisiológicos, un nuevo descubrimiento viene á prestar su apoyo y á difundir un rayo de luz sobre las tinieblas de la Medicina, Quizá llegue un dia en que el hombre sea explicado por el hombre; quizá tambien ese paso atrevido con que trata de penetrar hasta lo insondable de ese abismo que se llama Universo, haya un obstáculo imposible de vencer durante millares de años, y entónces se le vea desfallecer falto de valor y de constancia.

Pero entretanto se resuelve este problema, ¿no es una dulce esperanza, no es un impulso poderoso, el ancho sendero por donde ha penetrado ya la Biología, para aquellos que dedican su vida al cumplimiento del más meritorio de los sacerdocios?

El escrito que hoy presento ante mi respetable Jurado de calificacion, basado en las consideracienes anteriores, lleva consigo otra idea.

Es muy general que conozcamos el desarrollo de la ciencia europea, pero por desgracia es tambien muy general que ignorémos el de la ciencia nacional.

Pues bien: yo procuraré hacer la exposicion de las ideas que he aprendido á mis maestros Alvarado, Ignacio, Barreda y Carmona y Valle, en estas pocas líneas, en que desearia tener alguna propia que consignar.

Ellas demuestran que aquí tambien nuestros sabios nacionales trabajan por el adelanto de la Medicina con la firmeza y la constancia de quien comprende su elevada mision.

I

DE una manera general podemos definir la respiracion, diciendo: que es la funcion en virtud de la que los séres organizados toman del medio ambiente que los rodea, ciertos principios necesarios á su vida, y devuelven á dicho medio otros que han llegado á ser inútiles y aun nocivos á su mantenimiento. Pero si nos concretamos solamente al hombre y á los animales superiores, podemos decir de una manera mas simple: la respiracion, es la funcion que tiene por objeto la trasformacion de la sangre venosa en sangre arterial. Esta trasformacion, como lo sabe todo el mundo, tiene lugar bajo la influencia del oxígeno del aire.

Como para cada una de las funciones, hay en la economía órganos especiales destinados al cumplimiento de la respiracion. Normalmente estos órganos son el pulmon y la piel; porque solo la piel y la mucosa pulmonar, están en contacto con el aire en el estado normal. Pero si nos separamos un poco de las circunstancias naturales, si entramos al terreno de la experimentacion, donde nos es dado variar hasta el infinito las condiciones bajo las que se verifican los fenómenos vitales, nos es fácil demostrar que toda membrana animal puede dejarse atravesar por el oxígeno, puede, en una palabra, ser una superficie respiratoria. Multitud de fisiologis-

tas han visto que inyectando el oxígeno del aire en una asa intestinal, en el peritoneo, en el tejido celular sub-cutáneo, despues de un tiempo mas ó menos corto no hay ya oxígeno en el lugar donde la inyeccion se hizo, sino una cierta cantidad de ácido carbónico: que poniendo á desnudo un vaso venoso y exponiéndolo al aire, despues de haber encerrado entre dos ligaduras la sangre que contiene, esta sangre va enrojeciendo poco á poco por la absorcion del oxígeno. Y estos cambios gaseosos que tienen lugar en puntos que normalmente están fuera del contacto del aire, pueden aún ser bastante intensos para prolongar la vida del animal en ausencia de la respiracion principal, como Pablo Bert lo ha demostrado. Gatitos de tres dias en los que ha ligado la tráquea, y ha hecho pasar una corriente de aire desde el estómago hasta el ano, han continuado ejecutando movimientos respiratorios inútiles durante veintiun minutos por término medio; miéntras que otros animales de la misma edad, pero en que simplemente ligó la tráquea, no han ejecutado dichos movimientos sino durante trece minutos. La prolongacion de ocho minutos, obtenida en estas experiencias ha sido debida indudablemente á la respiracion verificada por la mucosa del tubo digestivo.

Por lo dicho, queda sentado, que toda superficie dotada de vida, puede ser el sitio de los cambios osmóticos que constituyen la respiracion, siempre que esta superficie se halle en contacto con el aire atmosférico. Pero no todos los órganos que gozan de estas condiciones al estado normal, pueden formar un aparato respiratorio. Hay en efecto circunstancias que hacen que los cambios gaseosos tengan lugar mas fácilmente en ciertos órganos que en otros, y un aparato respiratorio debe poseer al mas alto grado todas estas circunstancias. Para determinar, pues, qué conjunto de órganos forman el aparato respiratorio del hombre ó de un animal cualquiera, debemos examinar, aunque sea rápidamente, cuáles son es-

tas condiciones que tanto influyen sobre la intensidad de los fenómenos respiratorios.

La intensidad de la respiracion depende, dice Bert:

1.° De la calidad propia de la membrana.

2.° De su extension.

3.° Del renovamiento de la sangre en su superficie interior.

4.° Del renovamiento del medio ambiente en su superficie exterior.

La primera de estas condiciones se refiere á la calidad propia de la membrana, que es el sitio de la respiracion, es decir, á sus propiedades físicas y químicas. Entre las primeras hay dos: el espesor y el estado higrométrico, cuya influencia sobre el punto que nos ocupa es tan notable como fácil de comprender. Indudablemente que miéntras más delgada sea dicha membrana, más fácilmente se dejará atravesar por el oxígeno; y por lo que toca al estado higrométrico, se sabe cuánto se facilitan en las experiencias de ósmosis las mezclas gaseosas con la humedad de la membrana limitante. La ciencia está en la más completa ignorancia sobre la relacion que pueden tener con el cambio de gases las propiedades químicas de la membrana respiratoria; pero es muy probable, como lo dice el eminente fisiologista que he citado, que este cambio no se hace con la misma rapidez al través de todas las membranas animales reducidas á un espesor uniforme.

La importancia que tiene la extension de una membrana sobre la intensidad de los fenómenos respiratorios, de que es el sitio, es tan evidente, que no hay necesidad de probar que dicha intensidad es directamente proporcional á aquella extension.

La tercera de las condiciones que examinamos es, como hemos dicho, el renovamiento de la sangre en la cara profunda de la membrana respiratoria. Se comprenderá toda la importancia de esta condicion, si se reflexiona que la accion

vivificante del oxígeno sobre la sangre, tiene lugar solamente por la mezcla, ó más bien, por la combinacion de aquel gas con este líquido; y es bien sabido que la energía con la cual un gas se disuelve ó se combina con un líquido, disminuye á medida que aumenta la cantidad de este mismo gas combinado ó disuelto ya anteriormente. De aquí la necesidad de una rica redecilla vascular en un aparato respiratorio, y en la economía de órganos de impulsion que activen la circulacion del líquido.

Por último, se ve claramente cuánta ventaja prestan á la respiracion todas aquellas disposiciones propias para facilitar el renovamiento rápido del medio oxigenado que se halla en contacto con la superficie respiratoria.

Conocidas ya las condiciones de perfeccionamiento que debe poseer un aparato respiratorio, puede verse que en el hombre, como en un gran número de animales, solo la mucosa pulmonar llena estas condiciones. La piel, que es la otra membrana normalmente en contacto con el aire, está léjos de presentarlas. Relativamente á la mucosa del pulmon es muy gruesa; está más expuesta á todas las causas del desecamiento; es más pobre en vasos y en su superficie, el aire no se renueva sino en virtud de sus propias corrientes. *En consecuencia, no puede decirse que la piel sea en el hombre un aparato respiratorio. Los cambios gaseosos que se verifican al través de esta membrana, tienen un lugar muy secundario en la importante funcion de la respiracion; no pueden por sí mismos bastar para mantener la vida del individuo por un tiempo apreciable, y* SU SUPRESION *tampoco puede ocasionar la muerte.*

Esta última proposicion encierra una idea que está en contradiccion abierta con la opinion de todos los fisiologistas, opinion que parece sancionada por la experiencia. Se sabe, en efecto, que suprimiendo la respiracion cutánea en un animal por el barnizamiento de la piel, la muerte no tarda en llegar. Pero, ¿esta experiencia prueba en efecto que la respi-

racion cutánea es indispensable á la vida? ¿Ó la muerte viene en estos casos porque juntamente con la respiracion de la piel se suprime alguna otra funcion del tegumento externo?

"Las funciones de la piel, ha dicho mi inteligente maestro el Sr. Carmona y Valle en una de sus lecciones de Clínica externa, no están estudiadas por completo. La secrecion de las glándulas sudoríparas y sebáceas, y la respiracion cutánea, son poco más ó ménos las únicas funciones vegetativas que se le conocen. Es fácil comprender la poca importancia relativa de la secrecion glandular, y por lo que toca á la respiracion cutánea, yo no estoy por darle todo el valor que le atribuyen los fisiologistas. Como vdes. saben, hace mucho tiempo que está demostrado que la muerte es la consecuencia necesaria cuando se cubre la piel de un animal con una capa de barniz, y como saben tambien, se ha explicado este fenómeno, diciendo que el animal muere asfixiado. Tal no es mi sentir, señores, y voy á exponer á vdes. brevemente las razones que sirven de fundamento á mi opinion.

"Yo he visto en Paris al Sr. Brown Sequard hacer experiencias relativas, y en las autopsías de los animales que han sucumbido despues del barnizamiento de la piel, jamás he visto marcados los caractéres de la asfixia. Por otra parte, la simple induccion puede aún servirnos de apoyo.

"Es bien sabido que cuando dos ó mas órganos contribuyen al desempeño de una misma funcion, la naturaleza suple la falta de uno de ellos exagerando dicha funcion en los demas. Cuando por una afeccion cualquiera uno de los pulmones viene á ser incapaz para servir á la respiracion, el otro suple perfectamente su falta. Así, no es muy raro ver cómo individuos que han tenido un padecimiento pulmonar, á consecuencia del cual han perdido un pulmon, continúan viviendo; y la observacion diaria nos enseña, que en las heridas de pecho con derrame intrapleural, en las que la abundancia del derrame suprime bruscamente la accion de uno de los pul-

mones, la muerte rápida por asfixia no sigue á esa supresion brusca. Y siendo la respiracion pulmonar como 1 y la cutánea como $\frac{1}{32}$, ¿por qué si suprimiendo $\frac{1}{2}$ de respiracion no hay asfixion, habia de haberla cuando se suprime solo una treinta y dos ava parte?"

"Es necesario, pues, en estos casos buscar la causa de la muerte en otra parte. Con el barnizamiento de la piel no solo se suprime la respiracion cutánea. Por la superficie del tegumento externo tiene lugar la exhalacion de miasmas animales, y además esta misma superficie es el principal lugar de la excitabilidad nerviosa. ¿Quién nos asegura que la supresion de este sitio de excitabilidad para que el sistema nervioso funcione no sea la verdadera causa de la muerte en las experiencias citadas?"

¿Quién ha demostrado que ninguna influencia tiene en la muerte la falta de exhalacion de dichos miasmas?

Muchos médicos opinan que la muerte en las quemaduras extensas de la piel es debida á la supresion de la respiracion cutánea. Tal es entre otros el parecer de mi sabio maestro el Sr. Hidalgo Carpio. Pero yo que he tenido ocasion de oir refutar esta opinion á mi digno maestro el Sr. D. Gabino Barreda, no he podido menos de ser arrastrado por la lógica de sus razonamientos, y he quedado plenamente convencido de que en estas lesiones, una de las causas que mas influencia tiene en la muerte, es el dolor.

Mi apreciable compañero y amigo Juan C. Fernandez, se ocupa en la actualidad de hacer experiencias para determinar el verdadero valor de la respiracion cutánea. Para la supresion de esta funcion, no solo ha empleado el barnizamiento de la piel, sino que se ha valido de medios tan variados como ingeniosos. Yo siento no poder dar en este trabajo tan reducido, una idea, aunque sea general, de los aparatos que está empleando, y siento tambien no asentar ninguna de las conclusiones á que ha llegado, porque él juzga que sus ex-

periencias son aún en muy corto número para sacar de ellas deducciones ciertas. Sin embargo, tengo la persuasion de que acaso muy pronto la fisiología experimental resolverá definitivamente esta importante cuestion de la ciencia, y la resolverá de conformidad con la opinion que dejo expuesta.

Haciendo á un lado esta cuestion, que solo la he tocado de paso, sigamos examinando los órganos que en el hombre forman el aparato respiratorio.

Si la piel no presenta las condiciones que un aparato respiratorio requiere, el pulmon, como hemos dicho, las posée en alto grado. Es un órgano lleno de cavidades tubulosas, más ó menos ramificadas y terminadas en fondos de saco, disposicion que multiplica admirablemente las superficies. Estas cavidades están tapizadas por una mucosa delicada, cuyo espesor va disminuyendo en cada ramificacion hasta quedar reducida en los fondos de saco, es decir, ahí donde la respiracion tiene lugar casi exclusivamente á una simple laminilla epitelial. La profunda situacion de dicha membrana, es una condicion que evita su desecamiento y su secrecion propia, así como la exhalacion de vapor de agua, que tiene lugar en su superficie, son causas que concurren á mantenerla en el debido estado de humedad. La riqueza de los vasos que serpean en su cara profunda es bien conocida; y la proximidad del pulmon al centro de impulsion del torrente circulatorio es sin duda una causa poderosa para la rapidez de la circulacion en este órgano, y por consiguiente para el renovamiento de la sangre. Finalmente, el aire puede penetrar con facilidad por las cavidades tubulosas del pulmon, mantenidas constantemente abiertas por partes sólidas que le sirven de armazon, y su renovamiento se verifica por un mecanismo ingenioso.

La manera con que se hace en el interior del pulmon este renovamiento del aire, es lo que constituye los fenómenos mecánicos de la respiracion, punto principal de esta memo-

ria, y del que tal vez me he separado mucho; pero ántes de abordar este estudio, he creido conveniente entrar en las consideraciones anteriores.

El renovamiento del aire tiene lugar esencialmente por un rompimiento de equilibrio entre las presiones intra y extra-pulmonar, y este rompimiento lo producen movimientos alternativos de dilatacion y contraccion del receptáculo en que está contenido el órgano de la respiracion. Durante estos movimientos de la caja torácica, que es dicho receptáculo, el aire es atraido al interior de los conductos aéreos por rarefaccion, y expulsado de ellos por compresion. Tendencia al equilibrio de las presiones interna y externa: hé aquí la causa principal de la entrada y salida del aire. Para que este cambio de presiones se produzca, se deja ver la necesidad que hay de que la caja sea más ó menos resistente, á fin de que pueda soportar sin doblarse sensiblemente la presion atmosférica, siempre constante, cuando la presion intra-pulmonar disminuye, y por esto en todos los animales de respiracion aérea encontramos el pulmon protegido por un esqueleto más ó menos sólido. Es verdad que este esqueleto no está formado casi nunca por una pieza única y que por consiguiente no todos los puntos del pulmon se hallan protegidos por él; pero tambien es cierto que entre las diferentes piezas que lo componen, existen músculos de fibras estriadas que en el momento en que se rarifica el aire dentro del pulmon, entran en contraccion súbita y enérgica y presentan una rigidez capaz de soportar el aumento de presion exterior.

La disposicion del esqueleto en varias piezas (costillas, vértebras y externon) articuladas unas con otras, facilita, como claramente se comprende, los movimientos alternativos de dilatacion y de contraccion de la caja torácica.

Durante la dilatacion del tórax, el aire penetra al interior del pulmon por las causas ya expuestas, y esta penetracion

del aire constituye la inspiracion; el primer acto, ó la primera face de la respiracion. Viene en seguida la contraccion de las paredes torácicas y al mismo tiempo la expulsion de una parte del aire encerrado en las cavidades pulmonares. Esta es la espiracion.

No es cierto, como muchos autores lo dicen, que en el órden de los fenómenos respiratorios viene primero la inspiracion, despues la ósmosis gaseosa, y por último, la espiracion. Los cambios osmóticos entre el aire y los gases de la sangre, cambios que constituyen los fenómenos físico-químicos de la respiracion, tienen lugar en todos los momentos, tanto durante la inspiracion, como durante la espiracion; porque en todos los momentos existe aire en el interior del pulmon; solamente que parece demostrado que el máximo de energía de la salida de los gases de la sangre, tiene lugar durante la inspiracion, miéntras que la penetracion del oxígeno del aire en el líquido sanguíneo es más fuerte durante la espiracion. Esto depende de la rarefaccion del aire intra-pulmonar durante el primer acto, lo que ejerce una especie de succion, y de la compresion que este mismo aire sufre en el segundo acto. Por otra parte, estos cambios gaseosos tienen necesidad de un cierto tiempo para verificarse, de donde se seguirá que para que el aire de una espiracion fuera el resultado de la ósmosis del aire introducido por la inspiracion precedente, seria necesario que pasase un cierto tiempo entre el fin de la inspiracion y el principio de la espiracion, lo que no tiene lugar, como verémos en breve, al entrar en las consideraciones que este punto merece.

De lo expuesto podemos sacar esta conclusion: el aire de la primera espiracion tiene sensiblemente la misma composicion química que el que ha penetrado en las cavidades pulmonares durante la primera inspiracion. Esto se comprenderá mejor con un ejemplo. El niño que acaba de nacer introduce en su pulmon en la primera inspiracion un volúmen

dado de aire y expulsa inmediatamente despues por la primera espiracion otro volúmen un poco menos que él inspirado, porque ya he dicho que en la espiracion solo sale una parte del aire contenido dentro del pulmon. La cantidad de aire inspirado por primera vez se divide pues en dos porciones: una que es arrastrada hácia fuera de las cavidades aéreas durante la primera espiracion, y la otra que queda dentro del órgano respiratorio. ¿Sobre cuál de éstas porciones se verificarán los fenómenos de ósmosis? Es claro que sobre la última, porque solo ella permanece dentro del pulmon el tiempo necesario para la produccion de estos fenómenos. Luego el aire de la primera espiracion no habiendo tomado parte en los cambios gaseosos, tendrá sensiblemente la misma composicion que el introducido en las cavidades pulmonares por la primera inspiracion.

En cada una de las respiraciones sucesivas el aire inspirado se mezcla dentro del pulmon con el que habia quedado en este órgano despues de las espiraciones precedentes, y solo despues de dos ó tres movimientos completos de respiracion, el aire espirado diferirá en composicion del inspirado. Por lo mismo conviene no olvidar que nunca el aire de la espiracion 10, por ejemplo, es el mismo que entró al pulmon en la décima inspiracion, sino que es el que entró en la inspiracion sétima ú octava.

Hace poco que sentamos que la inspiracion y la espiracion se suceden inmediatamente; pero no es esta la opinion de todos los fisiologistas, y muchos hay que siguiendo á Vierordt y á Ludwig han sostenido y sostienen aún que hay una pausa inspiratoria y una pausa espiratoria. Este es un errror que los últimos trabajos de Marey sobre la respiracion del hombre y los de Bert sobre la de muchos animales han puesto de manifiesto. Estos experimentadores han probado en efecto, valiéndose del método gráfico, cuyas ventajas no necesito encomiar, que la espiracion y la inspiracion se suceden sin re-

poso intermediario, y que hay solamente un debilitamiento al fin de la inspiracion y otro frecuentemente mas marcado al fin de la espiracion.

Los resultados obtenidos con los pneumógrafos, que así se llaman los aparatos que se aplican sobre el tórax, para obtener escritos sus movimientos, son análogos á los que se obtienen con los aparatos que se aplican en las vías aéreas para tener escritos los cambios de la presion intra-pulmonar, lo que depende de la íntima relacion que hay entre los movimientos de la caja torácica y los cambios de dicha presion. Hay, sin embargo, una diferencia importante que es necesario no olvidar en la interpretacion de las curvas gráficas, y es que los trazos de un sistema son invertidos respecto de los del otro. Así en una gráfica tomada por las vías aéreas la elevacion de una curva corresponde á la espiracion, porque se escribe en el momento en que la palanca que lleva el estilete es levantada por la corriente de aire espirado, miéntras que una gráfica tomada por la aplicacion del neumógrafo la elevacion de la curva corresponde á la inspiracion, momento en que levantadas las costillas se levanta con ellas la palanca del instrumento.

Para mejor inteligencia, creo conveniente exponer el principio en que se funda este método y la descripcion de los principales aparatos empleados en él, para lo cual nada puedo hacer mejor que citar lo que sobre el particular dice Bert en su tratado de respiracion.

" El aparato registrador de que nos servirémos, dice este autor en la página 200 de la obra citada, es el que Marey ha adoptado últimamente."

Un movimiento de relojería provisto de un regulador de Foucault (construido el todo por Sécrétan) pone en movimiento tres ejes con velocidades diferentes. Uno de estos ejes gira sobre sí mismo cuarenta y cinco veces por minuto, un segundo seis veces, y el tercero una vez solamente. De este

último nos servirémos exclusivamente á causa de la lentitud relativa de los movimientos respiratorios. Un cilindro hueco compuesto de una delgada hoja de cobre, puede ser adaptada á uno ó á otro de estos ejes, y es entónces arrastrada por su movimiento. La circunferencia de la base de este cilindro tiene 42 centímetros de longitud.

Fijemos sobre este cilindro colocado sobre el eje de pequeñas velocidades una hoja de papel que la envuelva completamente, y miéntras que gira apoyemos sobre él la punta de un lápiz mantenido inmóvil. Hé aquí que una vuelta se ha acabado y nuestro lápiz vuelve al punto primitivo. Es evidente que si entónces detenemos el movimiento y si quitamos la hoja. la circunferencia que ha trazado la punta del lápiz, se encontrará representada sobre la hoja de papel por una línea recta. Esta recta de 42 centímetros de longitud habrá sido descrita por un movimiento uniforme en un minuto ó sesenta segundos. Por consiguiente, cada centímetro de longitud corresponde á $\frac{60}{42}$ de segundo, es decir, igual á un minuto cuatro décimos, y durante cada segundo el lápiz ha trazado una longitud de $\frac{42}{60} = 0,^{m}007$.

Coloquemos de nuevo la hoja de papel sobre el cilindro, pero miéntras que éste gira, desalojemos nuestro lápiz paralelamente á sí mismo, sin que su punta se separe del papel; despues traigámosle á su punto de partida. Es evidente que si el cilindro hubiera quedado inmóvil, el lápiz habria simplemente trazado una línea paralela á su generatriz, perpendicular por consiguiente á la circunferencia que describia ántes que le hubiésemos desalojado. Pero el cilindro ha girado (delante del lápiz) y lo ha hecho ántes que el lápiz, de de donde resulta que la punta ha estado siempre en un punto avanzado relativamente al que hubiera ocupado en el caso de inmovilidad; así, en lugar de trazar una línea recta ha trazado una línea curva ascendente primero, descendente despues, línea que podemos extender sobre un plano, quitan-

do del cilindro nuestra hoja de papel. Si el movimiento que hemos impreso á nuestro lápiz no ha sido perfectamente uniforme, es claro que nuestra curva deberá presentar sinuosidades que traducirian á la vista las aceleraciones ó las lentitudes del lápiz. Tal es, por ejemplo, la curva de la figura 1.ª

Nada mas simple que la discusion de esta curva, si el lápiz hubiera quedado inmóvil, al girar el papel hubiera descrito durante un tiempo dado, un arco de círculo representado sobre la línea OX por la longitud OA. Y sobre esta longitud espacios iguales, Oa, aa, corresponderian á tiempos iguales. Si, por otra parte, el papel hubiera quedado inmóvil, el lápiz desalojándose habria descrito sobre la línea OY la longitud OB, y entónces al cabo de un segundo hubiera llegado á b; despues de dos segundos, á b', y despues de tres á B, etc.

Pero gracias al doble movimiento, en lugar de estar en b, el lápiz se ha encontrado en c, en vez de estár en b' se ha encontrado en c' etc. En definitiva la proyeccion sobre el eje de las abscissas dá la medida del tiempo empleado en recorrerlas y la de sobre el eje de las ordenadas la medida de amplitud de los desalojamientos.

No insisto mas sobre la discusion de las curvas, sobre las rectificaciones que se necesita en ciertos casos hacerlas sufrir. Estas cuestiones que solo tendrian para nosotros un interes secundario, son expuestas con detalle en la obra de Marey.

Las curvas que se inscriben sobre nuestro cilindro son trazadas no por un lápiz, sino por un ligero estilete que frota sobre una capa de negro de humo de que se ha cubierto el papel. Los movimientos del estilete son determinados por los de una membrana de caoutchouc restirada sobre un tambor de cobre, que un tubo hace comunicar con la fuente de movimiento. Es pues necesario que el movimiento que se obser-

ve sea para ser registrado, trasformado en un movimiento aéreo.

Este, para los movimientos respiratorios puede ser obtenido de muchas maneras. La mas simple de todas, de seguro, consiste en colocar un tubo en la tráquea del animal, y poner en relacion por medio de un caoutchouc, este tubo con el del tambor registrador.

Pero, como por una parte, el animal pronto seria asfixiado, no teniendo receptáculo de aire á su disposicion, y como, por otra los movimientos respiratorios, demasiado amplios, desalojarian mucho la palanca, se interpone en el trayecto del tubo de goma elástica, un receptáculo, frasco, bocal, tonel, lleno de aire, que permitan al animal vivir y disminuyan la amptitud de los movimientos.

El procedimiento de que acabo de hablar tiene la ventaja de asegurar, cuando la ligadura traqueal está bien establecida, una clausura perfecta del sistema, y este es un punto importante. Se comprende muy bien, por ejemplo, que si, miéntras que un animal permanece largo tiempo en inspiracion de manera que la membrana de goma se haga cóncava y quede así tendida, hay en el tubo de caoutchouc ó en otro lugar un orificio, por pequeño que sea, el aire entrará, atraido por los esfuerzos de elasticidad de la membrana, esta volverá sobre sí misma, y la palanca que lleva indicará un movimiento que el animal, en suma, no habrá ejecutado. Así, es importante asegurarse siempre de que los aparatos cierran bien, cuando debe haber semejantes tiempos de detencion.

Pero como la introduccion de un tubo en la tráquea necesita que se sacrifique en seguida los animales, y como por otra parte, no puede aplicarse á todas las experiencias, he imaginado otros medios de accion.

A menudo introduzco, particularmente en los perros, por un pequeño agujero hecho en la tráquea, una cánula curva que penetra en las vías aéreas. Está tallada en bisel á costa

de su concavidad, y su cavidad comunica con un tubo de goma que va á la palanca. Este pequeño aparato puede ser aplicado sin inconveniente y luego levantado.

Se puede todavía en algunos animales, como los pequeños mamíferos, las aves, etc., introducir la cabeza en una bolsa de goma, de orificio estrecho, el cual se aplica exactamente sobre el cráneo; se hace la clausura casi hermética, aplicando allí una solucion concentrada de goma arábiga. Un tubo de goma va de la bolsa al aparato registrador.

Cuando no están protegidas las ventanas de la nariz de manera que la bolsa de goma pudiera obliterarlas durante la inspiracion, ó cuando es de temerse el movimiento brusco que se opera algunas veces en las membranas de goma á causa de su elasticidad, empleo un aparato compuesto de una parte sólida de madera ó de vidrio y de un rodete de caoutchouc, que sirve para la clausura.

Otro órden del todo diferente de procedimientos, consiste en el empleo de instrumentos que son puestos en juego por los movimientos del tórax ó del abdómen, en lugar de serlo por el aire mismo que sale del pulmon.

Uno de estos instrumentos es una modificacion del que Marey ha inventado y designado con el nombre de *pneumógrafo*. El instrumento de Marey consiste en un cilindro de goma encerrando una espiral elástica que toma punto de apoyo sobre las bases del cilindro, las cuales son sólidas, de metal. Aquí sucede todo lo contrario; el cilindro hueco es metálico; las dos bases son dos membranas de caoutchouc; un tubo pone en comunicacion el interior del cilindro con el tambor del registrador. A cada membrana está fijo un gancho, y á estos ganchos se ata un cinturon que puede abrazar estrechamente el cuerpo del animal; esta disposicion hace el aparato mucho mas sensible que el de Marey, que fué inventado para el hombre, es decir, para un sér de movimientos respiratorios enérgicos.

Es claro que si el animal inspira, separa una de otra las dos membranas, rarifica el aire del cilindro, de donde resulta un movimiento de la palanca; cuando espira, al contrario, las membranas elásticas vuelven á su punto de reposo, de donde resulta un movimiento contrario.

Otro instrumento de que nos servirémos frecuentemente, es una especie de cápsula de cobre, presentando tambien un tubo de desprendimiento y cerrada igualmente por una membrana elástica. Sobre ésta se eleva, con el apoyo de una ligera placa de aluminio, un tallo vertical terminado por un pequeño disco. Este tallo pasa sin frotamiento á través de un puente de cobre que lo mantiene; á este puente se ata un hilo elástico, que tiende á relacionar los discos cuando se han hundido del lado del tambor.

Se puede montar este instrumento sobre un pié, y entónces se aproxima suavemente el disco á las paredes del torax, ó mas generalmente, al punto móvil, apoyando bastante para que haya siempre un contacto suficiente.

Es el procedimiento que he empleado, y que emplearémos para los grandes animales: Mamíferos, Cocodrilos, Boas. Para los pequeños, para las aves, por ejemplo, fijo el tambor sobre un brazo de una especie de compás de espesor; el otro lleva un disco; entre estos brazos se puede oprimir medianamente el animal, de manera que todos sus movimientos respiratorios obren sobre el disco que sobremonta la placa de goma; un mecanismo muy sencillo y que explica la vista sola del instrumento, permite modificar á voluntad la longitud de las ramas y el valor del ángulo que forman.

Tales son los principales instrumentos que emplearémos; pero será preciso imaginar otros para la solucion de ciertos problemas especiales; los describirémos en su lugar.

Sean cuales fueren los procedimientos con ayuda de los cuales lleguemos á obtener gráficas respiratorias, estos deben siempre ser leidos é interpretados de la misma manera.

Siempre, sobre el papel desarrollado del cilindro, la palanca debe ser considerada como habiendo marchado de izquierda á derecha. Siempre, además de esto, la inspiracion corresponde al abatimiento de la línea, la espiracion á su ascenso. Me he limitado á seguir esta regla establecida por Marey, que la curva debe representar las oscilaciones de la columna libre de un manómetro en comunicacion con el manantial del movimiento; ahora, esta columna se abatiria evidentemente durante la inspiracion, para levantarse durante la fase contraria.

No puedo detenerme en examinar cuidadosamente, cómo el levantamiento de las costillas determina la ampliacion del tórax en el sentido ántero-posterior y en el transverso, qué músculos obran en estos movimientos, y por qué mecanismo las paredes torácicas vuelven á su posicion primitiva durante la espiracion. Por lo demás todo esto se halla perfectamente explicado en nuestro autor de texto Beclard, y nada nuevo podria yo añadir.

Pero no pasaré por alto una cuestion importante que Beclard no resuelve de una manera satisfactoria en todos sus puntos: La accion del diafragma en la inspiracion.

Todos los fisiologistas convienen en que el diafragma es en el hombre el agente principal de la ampliacion del tórax, y que por lo mismo su accion es la mas enérgica de cuantas concurren á la produccion del primer acto respiratorio, la inspiracion. Sin embargo, no por esto la respiracion deja de producirse mas ó menos regularmente sin la intervencion del diafragma y cuando por la seccion de los dos nervios frénicos se paraliza éste músculo, los animales continúan viviendo sin grandes molestias. En el hombre aun se han observado casos de atrofia del diafragma en los cuales la vida ha persistido durante un tiempo muy largo. Y es que cuando el diafragma falta los intercostales y los otros músculos inspiradores suplen su accion exagerando la que ellos tienen normalmente.

Esta ampliacion del pecho por la accion del diafragma se hace en el sentido vertical en el hombre, ántero-posterior en los animales: nadie duda de esto; ¿pero no obra tambien ensanchando la base del tórax el músculo en cuestion? Cuestion es esta muy debatida y que últimamente el método gráfico ha venido á resolver de una manera definitiva.

Parece que Galeno, fundándose en una experiencia que no refiere el autor que he consultado, fué el primero en atribuir al diafragma el poder de levantar las costillas inferiores y aumentar, por consiguiente, la base del pecho. Magendie sostuvo despues esta opinion, y posteriormente á este fisiologista Beais y Maissiat emitieron la misma idea, esforzándose en demostrar su exactitud por una experiencia notable. Seccionaron todos los músculos elevadores de las costillas con excepcion del diafragma, y notaron que á pesar de esta mutilacion los últimos de estos arcos huesosos se levantaron. Mas tarde, Duchenne (de Boulogne) electriza el nervio frénico, ya sobre el hombre vivo ya sobre los animales vivos ó muertos, y obtiene por resultado constante la elevacion de las costillas sobre las que el diafragma se inserta.

No obstante estas experiencias, muchos fisiologistas, Beclar entre otros, guiándose exclusivamente por datos anatómicos, no se dan por convencidos. A las experiencias de Beau objetan con razon, que si las últimas costillas continúan levantándose despues de la seccion de sus músculos elevadores, es solo porque articuladas con el esternon, cuyos músculos permanecian intactos, eran arrastrados por esta pieza huesosa; y para explicar los resultados obtenidos por Duchenne dicen que las corrientes empleadas por este experimentador no han podido localizarse en los nervios frénicos, sino que ganando tambien los músculos, mucho mejores conductores que la sustancia nerviosa, han determinado su contraccion, y de ahí el levantamiento observado.

Muy fundadas parecen estas objeciones, y sin embargo, es-

tudios posteriores han venido á demostrar, que en esta cuestion litigiosa la razon está de parte de Beau, Duchenne y demas autores que he citado. La sola contraccion del diafragma produce la elevacion de las costillas en que toma adherencia.

Hé aquí la demostracion de esta verdad. Bert toma un perro de grande talla, pone á descubierto las dos raíces del nervio frénico, rápidamente mata el animal seccionando el bulbo raquidiano, y despues corta la raíz superior que extiende sobre una placa de vidrio. Excita en seguida esta raíz con una corriente tan débil que apenas la siente entre sus dedos mojados, y que aplicada sobre los músculos de la pared torácica, no produce sino una débil contraccion. Pues bien, en el momento que la electricidad atraviesa el nervio, ve y hace ver á sus discípulos que las costillas inferiores son levantadas, y para poner este hecho fuera de toda duda, escribe con el neumógrafo este movimiento que está representado en el trazo *A* de la figura 3.ª Este trazo muestra una serie de líneas horizontales y verticales que corresponden las unas al período de excitacion, las otras al de reposo y que traducen los movimientos de las costillas. Se ve así, que por la accion sola del diafragma, las costillas se elevan permaneciendo elevadas miéntras que este músculo está en contraccion, y que caen en seguida y quedan en su posicion primitiva miéntras que está en el estado de relajamiento.

¿De qué manera las fibras del diafragma disminuyendo su convexidad determinan el levantamiento de las últimas costillas? Magendie y Duchenne lo han dicho ya, tomando un punto de apoyo, sobre las vísceras abdominales, cuya proyeccion hácia adelante es limitada por la pared anterior del vientre. La prueba de que esto es así, que si se sacan estas vísceras, el efecto no solo no se obtiene, sino que es inverso, pues dichas costillas son abatidas ó, mejor dicho, llevadas hácia dentro durante la contraccion del diafragma.

Haciendo esta clase de experimentos, Pablo Bert ha descubierto una nueva accion del diafragma sobre las costillas. Supone en las superiores un efecto opuesto al que ocasiona en las inferiores, es decir, que las abate durante su contraccion. Tal es lo que muestra la gráfica *B*, de la figura citada, que ha sido tomada simultáneamente con la *A*.

Resulta, pues, dice Bert, que por la única accion del diafragma, un notable antagonismo tiende á manifestarse entre el juego de la parte inferior y de la parte superior del tórax; aquí diminucion, allá aumento en la longitud del diámetro transversal; digo, tiende á manifestarse, porque en el estado normal cuando todos los músculos inspiradores entran simultáneamente en accion, no se ve semejante estrechamiento de la region del tórax.

Acaso, como lo dice el autor que acabo de citar, ésta accion del diafragma sobre las costillas superiores depende de particularidades propias al juego del tórax del perro y no se produzca en el hombre. Para dilucidar esta cuestion, seria preciso aprovechar esos casos raros y curiosos en que la atrofia progresiva muscular no ha dejado en juego para la inspiracion sino el diafragma.

Pasemos ahora á considerar los fenómenos mecánicos de la respiracion bajo un nuevo punto de vista, bajo la relacion que tienen con los fenómenos de la vida de nutricion y de la vida de relacion, que es otra de las cuestiones que me he propuesto estudiar.

Si examinamos una á una todas las funciones de la vida vegetativa, verémos que en casi todas ellas intervienen los movimientos respiratorios para el cumplimiento de algun fenómeno; pero es indudable que la digestion y la circulacion son las funciones en que esta interveucion se hace mas notable.

¿Qué influencia pueden tener los movimientos respiratorios sobre los fenómenos digestivos? Ninguna que yo pueda comprender sobre los que pertenecen al órden químico, pero

mucha sobre los que corresponden al órden mecánico, como vamos á verlo.

Pablo Bert estudiando la influencia que la respiracion tiene sobre la presion intra-abdominal, ha llegado á este resultado: que esta presion no es la misma en todos los momentos de la respiracion, sino que comunmente es mas considerable en la inspiracion que en la espiracion, lo que es debido á la presion que el diafragma al abatirse ejerce sobre las vísceras abdominales.

Para llegar á estos resultados se ha servido del método gráfico valiéndose de un procedimiento muy ingenioso y que expondré en pocas palabras.

Pone en uso un aparatito, compuesto de un pequeño saco de caoutchouc, dividido en dos globos por un estrangulamiento, y atravesado por un tubo de vidrio que comunica con un manómetro de aire libre. Prepara el animal sobre el que quiere experimentar, sometiéndolo á dieta con dos ó tres dias de anticipacion y aun purgándolo; además, en el momento de la experiencia, limpia con cuidado, por medio de lavativas, su tubo intestinal. Dispuesto de esta manera el animal, llena de agua el tubo de vidrio, introduce en el recto la extremidad de este tubo, y con él la primera parte del saco de caoutchouc. Despues insufla fuertemente el saco, que forma entónces dos esferas: la una, intra-rectal; la otra, exterior, separadas por el estrangulamiento, alrededor del cual ejerce su compresion el esfinter anal. De esta manera la oclusion queda establecida de un modo perfecto, y las oscilaciones debidas á los cambios de la presion abdominal, se manifiestan en la larga rama del manómetro, pudiendo entónces ser escritas con solo ponerlo en comunicacion con un aparato registrador.

Las gráficas que se obtienen así difieren frecuentemente las unas de las otras por condiciones múltiples que es dificil tener en cuenta durante la experiencia. Por esto para interpre-

tarlas bien es indispensable tomar simultáneamente las gráficas de los movimientos respiratorios por medio del procedimiento que ya he expuesto, aunque rápidamente, en otro lugar. Las oscilaciones de estas últimas gráficas, correspondiendo á fases conocidas de la respiracion, es fácil determinar por comparacion lo que en el trazo anal corresponde á la inspiracion y lo que corresponde á la espiracion.

Procediendo de esta manera, Bert ha obtenido simultáneamente sobre un perro las gráficas que contiene la figura 4.ª La primera de estas gráficas, la marcada con la letra *A*, expresa los movimientos del manómetro anal, miéntras que la señalada con la letra *B* indica los movimientos respiratorios tomados por la tráquea. Examinando la figura, se vé que durante la inspiracion, tal como la escribe la palanca que comunica con la tráquea, es decir, cuando esta palanca se abate, el agua se eleva en el tubo manométrico, y por consiguiente la presion aumenta en el abdómen. Lo contrario tiene lugar durante la espiracion y los dos fenómenos marchan simultáneamente, de manera que los dos trazos son invertidos el uno respecto del otro.

No siempre estos fenómenos son tan simples y tan fáciles de explicar. La figura 5.ª, por ejemplo, representa una doble gráfica obtenida algunos minutos despues sobre el mismo animal, y en ella los trazos no tienen entre sí la misma relacion que en la figura 4.ª Es verdad que aquí el trazo *B* no ha sido obtenido con el aire de la tráquea, como en el caso anterior, sino aplicando el neumógrafo; pero ya hemos dicho que los trazos del neumógrafo coinciden exactamente en cuanto á la duracion de las fases con los que se obtienen poniendo directamente en uso el aire de la tráquea. Ahora bien, analizando las gráficas de la figura 5.ª, vemos que al principio de la espiracion corresponde una diminucion en la presion abdominal, despues al fin de la espiracion la presion comienza á aumentar para crecer mucho más rápidamente durante

la inspiracion. La diferencia entre estos trazos y los precedentes no son muy notables, pero Bert ha tomado otras gráficas en que la inspiracion corresponde, por ejemplo, primero á un aumento, despues á una diminucion, y en seguida á nn aumento nuevo en la presion abdominal, y en donde la espiracion está marcada por un ligero aumento de dicha presion.

No se crea por esto que este método de experimentacion carece de interes siendo incapaz de dar datos útiles de los que puedan sacarse deducciones exactas. La razon de las diferencias que se notan en los trazos obtenidos por esta vía no es muy difícil de encontrar. Si se supone, en efecto, que la inspiracion se hace exclusivamente por el diafragma, es evidente que esta fase tendrá por resultado un aumento en la presion abdominal; si al contrario, tiene lugar por la única accion de los músculos del tórax, la dilatacion de los gases intestinales deberá, sobre todo al principio, ser la consecuencia, y la columna del manómetro anal bajará. Ahora, si intervienen simultáneamente, pero á diferentes grados, estas dos potencias inspiratorias, la presion intro-abdominal podrá sufrir las modificaciones notables que se observan en las gráficas.

En resúmen, resulta de esto, que los movimientos respiratorios tienen una influencia marcada sobre la presion intra-abdominal que cambia notablemente con ellos, y yo entiendo que estos cambios concurren con otras fuerzas para hacer progresar las sustancias alimenticias en el tubo digestivo.

La defecacion, otro de los fenómenos mecánicos de la digestion, es producida como todos lo saben por un esfuerzo mas ó menos grande, y en ella como en todos los esfuerzos, toman una parte activa los actos respiratorios. Durante los esfuerzos entran en accion los músculos del abdómen; músculos espiradores; pero que no toman parte en la respiracion ordinaria donde la espiracion casi no se verifica sino por la

sola elasticidad pulmonar. Mas para que los músculos abdominales puedan ejercer sobre los intestinos la debida compresion, se necesita que las costillas, uno de sus puntos de adherencia, sean fijas, y esta fijeza se produce por la oclusion de la glotis despues de que se ha almacenado por la inspiracion en las cavidades pulmonares una cantidad de aire proporcional al esfuerzo, y que completamente encerrado se opone al abatimiento de las costillas.

Cuando en el esfuerzo la oclusion de la glotis no es completa, como sucede algunas veces, la palanca del cilindro resgistrador que escribe los movimientos que entónces se producen se elevan repentinamente y queda poco más ó ménos inmóvil á una grande altura sobre el nivel general de las respiraciones. Tal se ve en la figura 6.ª que muestra los efectos del esfuerzo en la respiracion del perro.

La influencia que los actos respiratorios tienen sobre la circulacion, ha sido notada desde hace mucho tiempo. A cada inspiracion, el aire intra-pulmonar se rarifica por el ensanchamiento de la caja torácica, y en virtud de esta rarefaccion no solo el aire exterior se precipita por la glótis, sino que la sangre de los miembros y del abdómen es llamada á las venas cavas y á las regiones del corazon derecho miéntras que disminuye la marcha de la sangre de las venas pulmonares.

De la misma manera la espiracion tiene por efecto disminuir la impulsion de la sangre venosa hácia el pulmon y facilitar al contrario el camino de la sangre arterial en los vasos que vuelven al corazon izquierdo. De esta manera, por una notable armonía funcional, como lo hace notar Bert, la inspiracion lleva á la vez al pulmon aire puro y sangre que busca su contacto, miéntras que la espiracion, expulsando el aire inútil, ayuda tambien el curso de la sangre que ha sido ya vivificada.

Los latidos del corazon tienen tambien una cierta influencia sobre los cambios de la presion intro-torácica. El aflujo

sanguíneo que se hace á cada diástole debe (suponiendo al tórax inmóvil) comprimir el aire del pulmon, y si la glotis está abierta provocar una ligera espiracion: de la misma manera, cuando el corazon se vacia bruscamente, la sangre que lanza fuera del tórax debe ser reemplazada por una cierta cantidad de aire venido por la tráquea. Pero se pueden poner fácilmente en evidencia estos fenómenos. Basta para esto poner en comunicacion la tráquea de un perro con el aparato registrador y cortar despues el bulbo del animal de un solo golpe; la respiracion se detiene inmediatamente y el corazon continúa latiendo durante algunos minutos y escribiendo sus latidos como lo expresa la figura 7.ª

Por lo que toca á las funciones de relacion, solo me ocuparé de las modificaciones que imprimen en los movimientos respiratorios el grito y el canto.

En el grito que sucede al espanto ó á un dolor vivo, la espiracion, porque durante ella, como se sabe, son producidos los movimientos de la laringe para la produccion del sonido, es brusca, repentina; los músculos inspiradores detienen de un golpe su accion, y los agentes elásticos y contráctiles de la inspiracion entran inmediatamente en juego. En estos casos, á pesar del estrechamiento de la glotis, necesaria para la produccion del grito, es expulsando del pulmon una gran cantidad de aire. En el grito prolongado, como el que es producido por un dolor poco intenso, la glotis estrechada deja pasar una débil cantidad de aire; la espiracion es muy pausada, como lo indica la ascension gradual de la palanca en la gráfica de la figura 8.ª, gráfica que ha sido obtenida por Bert sobre el perro con el neumógrafo.

En el canto, la espiracion es lenta y sabiamente regularizada por los cantores de profesion, que no dejan escapar sino una cantidad de aire en relacion con la energía de las vibraciones laríngeas. Los músculos inspiradores entran entónces durante mucho tiempo en unas contracciones, cuyo relaja-

miento gradual lucha habitualmente contra el esfuerzo de la elasticidad pulmonar. Así, una de las dificultades del arte consiste en no dejar escapar por la glotis sino la cantidad de aire precisa para producir el efecto deseado.

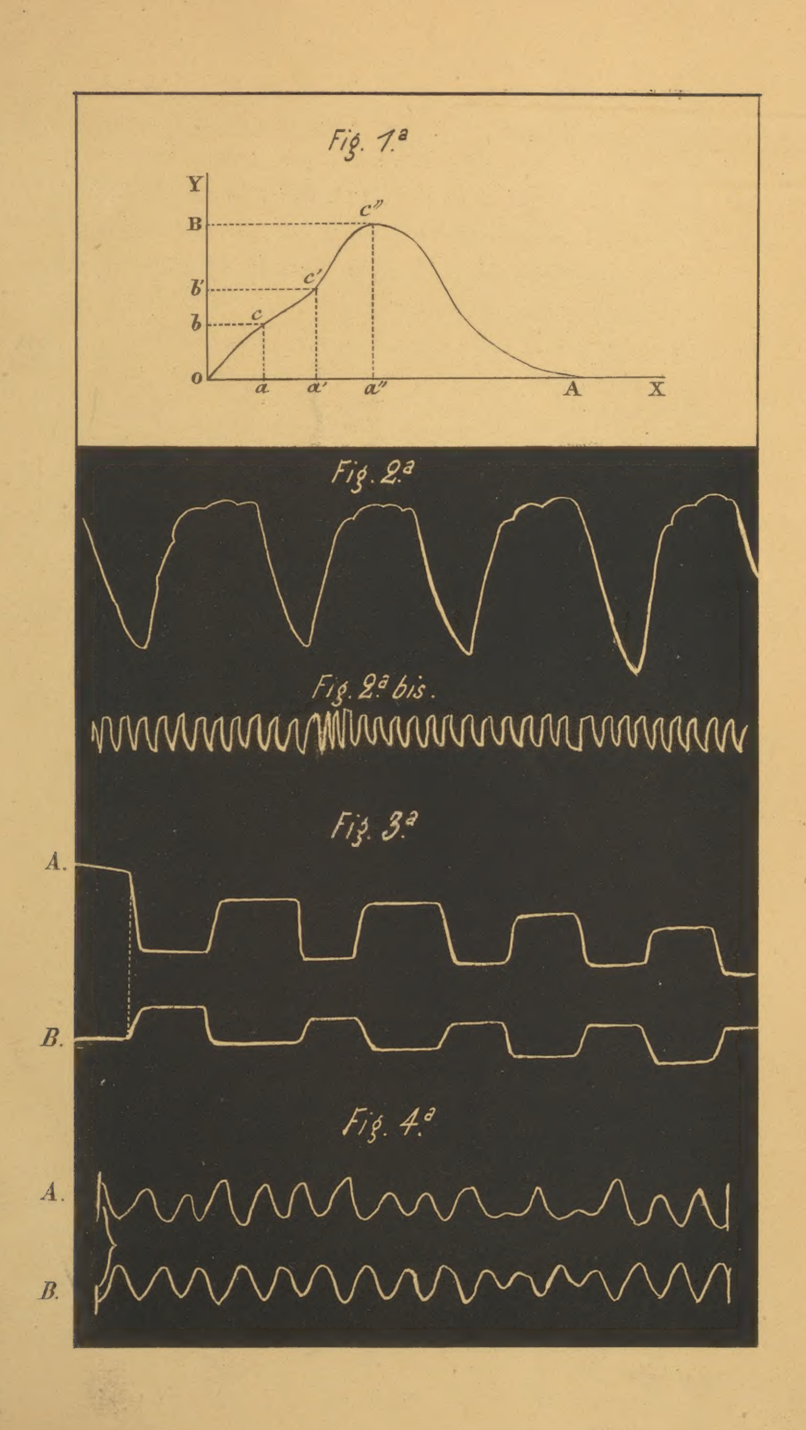
Para apreciar esta cantidad de aire y todo lo concerniente al canto, Bert, valiéndose del neumógrafo, ha hecho sobre él mismo experiencias, cuyo resultado expresan las gráficas *A*, *B*, *C*, de la figura 9.ª

Sobre el papel del cilindro registrador fueron trazadas dos líneas paralelas. Despues el experimentador, teniendo aplicado el neumógrafo, hace una inspiracion hasta que la palanca del instrumento llega á la línea inferior y entónces canta una nota que sostiene hasta que dicha palanca levantándose llega á la línea superior. Obtiene así una línea que es sensiblemente una recta de una cierta longitud. Hace en seguida una inspiracion nueva hasta que la palanca vuelve á la paralela inferior, y canta otra nota hasta que la palanca llegue otra vez á la línea superior. La línea obtenida esta segunda vez es tambien una recta y tiene la misma longitud que la precedente, lo que depende de que el pecho ensanchado al mismo grado que en la experiencia primera, ha salido la misma cantidad de aire.

Se ve por esto que la cantidad de aire salido por la glotis en un tiempo dado es el mismo cualquiera que sea la nota emitida; pues en las notas elevadas, la rapidez de la corriente de aire necesaria para hacer vibrar las cuerdas vocales tensas, compensan poco mas ó menos lo que á la cantidad de aire expulsado quita el estrechamiento de la glotis.

Pero si en lugar de cantarse una nota sola se canta una escala, un arpegio y sobre todo un aire un poco mas complicado, el fenómeno cambia, ya sea que la escala sea ascendente ó descendente. En este caso la cantidad de aire expulsado en cierto espacio de tiempo aumenta considerablemente, y la palanca se levanta con mucha mas rapidez como puede

verse en la figura 9.ª El abatimiento de la palanca corresponde siempre á inspiraciones sensiblemente iguales y en cuanto á las cifras que corresponden á la duracion de las espiraciones han sido en el trazo *A:* silencio 22; do bajo 67; silencio 23; do-mi-sol-do, 42; sol alto 66; sol-mi-do-sol, 45. Las inspiraciones 20. En el trazo *B* do bajo 70; do-re-mi-re-do 30; do alto 75; dos aires 25. En el trazo *C*, las inspiraciones son instantáneas, el intervalo de las paralelas mayores; el valor de las espiraciones: do bajo 120; do alto 120; do-mi-sol-do 90.


Fig. 1.ª
Y
B
c''
c'
b'
c
b
o
a
a'
a''
A
X
Fig. 2.ª
Fig. 2.ª bis.
Fig. 3.ª
A.
B.
Fig. 4.ª
A.
B.

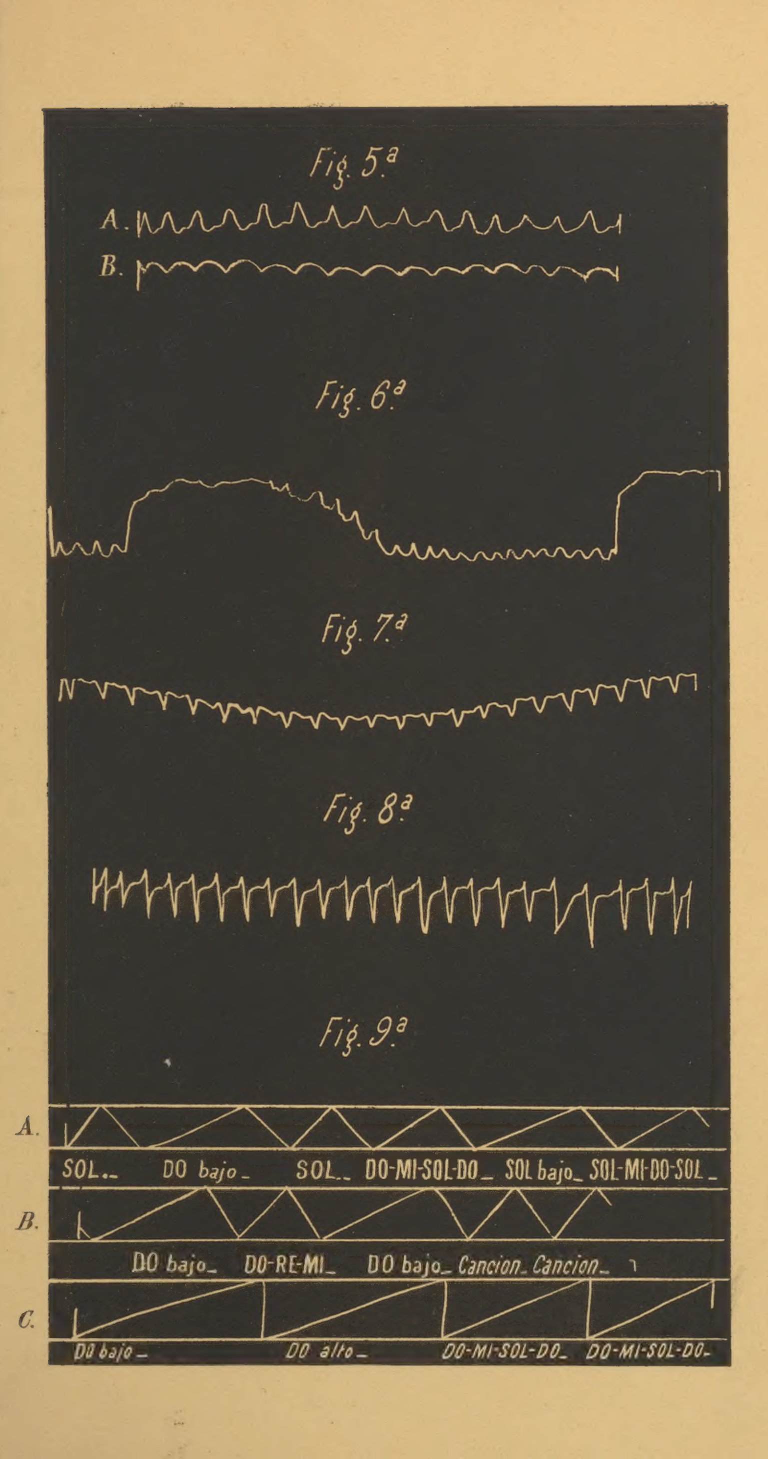


Fig. 5.ª
A.
B.
Fig. 6.ª
Fig. 7.ª
Fig. 8.ª
Fig. 9.ª
A.
SOL.._ DO bajo_ SOL._ DO-MI-SOL-DO_ SOL bajo_ SOL-MI-DO-SOL_
B.
DO bajo_ DO-RE-MI_ DO bajo_ Cancion_ Cancion_
C.
DO bajo_ DO alto_ DO-MI-SOL-DO_ DO-MI-SOL-DO-